

木質バイオマス発電事業と次世代施設園芸の連携について

小田 滋晃・長谷 祐・上西 良廣
高橋 隼永・川崎 訓昭・坂本 清彦

Shigeaki ODA, Tasuku NAGATANI, Yoshihiro UENISHI, Junei TAKAHASHI, Noriaki KAWASAKI, Kiyohiko SAKAMOTO: An Evaluation of Feasibility of Woody Biomass Power Cogeneration and Trigeneration Combined with the Next-generation Greenhouse Horticulture

In recent years in Japan, growth of the domestic forestry industry has been touted through a variety of policy measures, including promotion of the use of local forest material, such as wood biomass, especially as an energy source. However, the meager efficiency in the small-scale biomass power generation prompts multiple energy use, such as cogeneration (i.e. electric power and heat) and trigeneration (i.e. electric power, heat, and carbon dioxide). One of promising destinations of biproducts of wood-biomass trigeneration, heat and carbon dioxide, is the “next generation” horticulture, or production in greenhouses equipped with mass-scale, advanced environmental control capability. This study evaluates business potential of woody biomass power generation of which residual heat and carbon dioxide are utilized in the next-generation horticulture production. The study resulted in the following findings: 1) it is hardly possible to establish a financially viable woody biomass powerplant by itself; 2) calculated economic gains from productions of leafy lettuce and strawberry in next-generation greenhouses respectively proves their possible business feasibility; and 3) a 1.5-hectare next-generation greenhouse producing leafy lettuce combined with a small-scale woody biomass powerhouse demonstrated improvements in the balance of payment structure.

1. はじめに

近年、農業の六次産業化の推進や輸出拡大に向けて、「攻めの農林水産業」が注目されている。「攻めの農林水産業」は安倍晋三内閣の成長戦略の一つである農業改革の中に位置づけられ、農家の所得向上や地域の活力向上に向けた施策が打ち出されている。その実現に向けた取り組みの一つとして、国内林業の成長産業化も謳われており、木質バイオマス等の地域材をエネルギー資源として利用拡大していくことが求められている。また、再生可能エネルギーを対象とした固定価格買取制度（以下、FIT）が開始された2012年以降は、木質バイオマス発電事業の普及も進んでおり、わが国森林資源の新たな需要先として期待されている。2012年のFITでは、木質バイオマス発電に関して5,000kW以上の大規模発電が想定され、20年間という長期にわたる原料木材の安定調達の困難性が指摘されていた。しかし、2015年の制度改正により、間伐材由来の木質バイオマスを利用した2,000kW未満の規模で

の木質バイオマス発電に対しては、それ以上の規模での発電と比較して電力買取価格が高めに設定されることとなった。これは、特定の地域内での小規模木質バイオマス発電を推進することで、域内の資源循環を活性化することを目的としている。

わが国は森林資源が豊富であることから、再生可能エネルギー利用における木質バイオマス発電への期待は大きい。しかし、小規模木質バイオマス発電事業は発電効率が悪く、電気を売却する売電事業のみで採算を取ることは困難とされており、発電時に発生する熱も供給する熱電併給（コージェネレーション）、さらに二酸化炭素も供給するトリジェネレーションの仕組みを構築することが重要とされている。この熱や二酸化炭素の供給先として、近年わが国で導入が進んでいる、オランダ型の大規模温室ハウスと ICT を活用した次世代施設園芸が考えられる。

この次世代施設園芸の代表的取り組みとしては、農林水産省が2013年から実施している「次世代施設園芸導入加速化支援事業」が挙げられる。2015年7月現在、本事業によって全国10ヶ所で次世代施設園芸が展開されているが、そのうちの7ヶ所で木質チップやペレットによるボイラーが利用されており、次世代施設園芸において熱供給の重要性は大きい。わが国において小規模木質バイオマス発電で発生した電気や熱を施設園芸に利用する取り組みはまだ多くないが、地域資源循環や地域農業・経済の活性化に関して、この種事業が与える影響は今後大きくなると考えられる。

そこで本稿では、木質バイオマス発電事業と次世代施設園芸との連携事業によって、発電の排熱や二酸化炭素を効率的に利活用した場合の事業性について考察を行う。その際、木質バイオマス発電事業と次世代施設園芸のそれぞれの事業性についても、一定の前提を置きつつ試算を行う。これは、どちらの事業に関しても、これまでは技術面からの研究はなされてきたものの、経営面に分析の視座を置いた研究が少ないためである。以下ではまず、わが国の再生可能エネルギーをめぐる政策を概観し、木質バイオマス発電事業の事業性および課題について論じる。その上で、連携事業となる次世代施設園芸の経営概況と熱や二酸化炭素の利用によるコスト削減の可能性を検討し、木質バイオマス発電と次世代施設園芸の連携の効果と可能性について述べる。

2. 木質バイオマス発電をめぐる政策と現状

本節では、小規模木質バイオマス発電に関して、現在わが国で進められている政策と現在の導入状況を概観する。その後、実際の小規模木質バイオマス発電装置を前提として、木質バイオマス発電事業の事業性の試算をおこなう。

（１）再生可能エネルギー導入に向けた政策

1990年代にアジア地域のエネルギー消費の増加や COP3 での京都議定書の採択を受けて、わが国でも省資源かつ環境負荷の少ない新エネルギーの開発及び導入が不可欠となった。わが国では1997年の「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネルギー法）」制定以降、太陽光や風力、潮汐力、バイオマスなど、いわゆる再生可能エネルギーを新エネルギーに含みつつ、その導入に向けた動きが活発となった。

日本の再生可能エネルギーの導入拡大施策は、大きく2つに分けられる¹⁾。1つ目は新エネルギー法に基づく、再生可能エネルギー導入事業への補助金政策、2つ目は電気事業者に再生可能エネルギー由来の電気の利用を義務付ける利用促進政策²⁾である。後者の政策の例として、2012年施行の「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づく「固定価格買取制度（FIT）」がある。

（２）固定価格買取制度（FIT）の概要

FIT は2012年から運用が開始されているが、太陽光を対象とした同様の取り組みは2009年の「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」に基づいて開始されている。この制度は、太陽光発電で作られた電気のうち、自家消費の電力を差し引いた余剰電力を電力会社が買い取るものであり、その費用を「太陽光発電促進付加金」として電気利用者が負担することで、「国民の全員参加」での太陽光発電の普及拡大を目的としていた³⁾。

FIT は、この太陽光発電の余剰電力買取制度の対象を拡大する形で運用されている。FITの対象となる発電方式は①太陽光発電、②風力発電、③水力発電、④地熱発電、⑤バイオマス（メタン発酵ガス、木質、一般廃棄物）発電の5つであり、発電した電気の全量を一定の価格・期間で、電気事業者が買い取る。この買い取り費用は余剰電力買取制度と同様に、賦課金として電気利用者が負担するもので、「太陽光発電促進付加金」はFIT導入と同時に「再生可能エネルギー発電促進賦課金」に統合されている⁴⁾。

それぞれの発電方式による FIT の買取価格および買取期間は表2-1のようにまとめられる。

（３）FIT による木質バイオマス発電の普及

1) 再生可能エネルギー発電施設の導入状況

2015年3月末時点で再生可能エネルギーの設備容量は3,935.7万kWとなっており、FIT導入前のほぼ2倍近くである。しかし、増加した設備容量のほとんどは太陽光発電であり、バイオマス発電は約1割の増加にとどまっている（表2-2）。一方で、FIT導入後のバイオマス発電設備の拡大状況を見ると、木質バイオマス発電はバイオマス発電の新規導入量の約50%、認定容量の約80%を占めており、FITを活用した今後の拡大が見込まれる発電方式であるといえる（表2-3）。

表2-1 FITの調達（買取）価格と買取期間

発電設備の種類	調達価格（円/kWh・税抜）				買取期間
	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	
太陽光（10kW以上）	40	36	32	27～29	20年
風力（20kW以上）	22	22	22	22	20年
中小水力（200kW未満）	34	34	34	34	20年
地熱（15,000kW以上）	26	26	26	26	15年
バイオマス（メタン発酵ガス）	39	39	39	39	20年
バイオマス（一般廃棄物）	17	17	17	17	20年
バイオマス（未利用木質）	32	32	32	40 (2,000kW未満)	20年
				32 (2,000kW以上)	20年
バイオマス（一般木質）	24	24	24	24	20年
バイオマス（建設廃材）	13	13	13	13	20年

資料）経済産業省資源エネルギー庁資料より

注）個々の事業者には、国からの設備認定と電力会社との接続契約が締結された時点での買取価格・期間が適用される。

表2-2 再生可能エネルギー発電設備の新規導入状況

単位：万kW

発電設備の種類	FIT導入前	FIT導入後			
		2012年度 7月～3月末	2013年度	2014年度	FIT導入後の 増加分
太陽光（住宅）	約470	96.9	130.7	82.1	309.7
太陽光（非住宅）	約90	70.4	573.5	857.2	1501.1
風力	約260	6.3	4.7	22.1	33.1
地熱	約50	0.1	0	0.4	0.5
中小水力	約960	0.2	0.4	8.3	8.9
バイオマス	約230	2.1	4.5	15.8	22.4
合計	約2060	175.8	713.9	986	1,875.70

資料）経済産業省資源エネルギー庁資料より

表2-3 バイオマス発電設備の新規認定状況

発電設備の種類		認定件数 (件)	認定容量 (万kW)	導入件数 (件)	導入量 (万kW)
メタン発酵ガス		110	3.3	43	0.9
一般廃棄物・木質以外		68	29.7	30	10.0
木質バイオマス	未利用木質	50	36.3	13	6.9
	一般木質	48	132.2	7	4.2
	建築廃材	4	1.1	2	0.4
合計		280	202.6	95	22.4

資料）経済産業省資源エネルギー庁資料より

2) 木質バイオマス発電設備の課題

木質バイオマス発電事業の発電にかかるコストでは、出力規模による発電効率の差が大きな問題となる。FIT における木質バイオマス発電の買取価格の策定には、5,000kW の蒸気タービン方式での発電がモデルとして想定されている。その発電効率は20%とされており、出力の規模が小さくなれば、発電効率も低下する⁵⁾。つまり、5,000kW 以上の出力規模を達成しなければ、FIT を利用しても採算が取れなくなる可能性が高くなる。実際に、FIT の認定を受けた木質バイオマス発電設備102件のうち、82件が5,000kW 以上の発電規模を有しており、大規模な木質バイオマス発電事業が展開されている（図2-1）。こうした大規模な木質バイオマス発電事業では、買取期間である20年間にわたる原料調達の安定性確保が最大の課題であり、林業との連携や森林資源の保全と整備も含めた施策が重要となっている。

2015年度からは、2,000kW 未満の未利用木材を利用した木質バイオマス発電に対して、新たな FIT 買取価格が設定されて、比較的小規模な木質バイオマス発電事業の展開が可能となりつつある。一定の地域内での資源循環が可能な小規模木質バイオマス発電事業は、林業など地元産業の収益拡大、雇用創出といった地域経済活性化や、間伐材の効果的な利用による森林整備推進などの効果が期待されている。以下では、小規模木質バイオマス発電事業について、その事業性を計測していく。

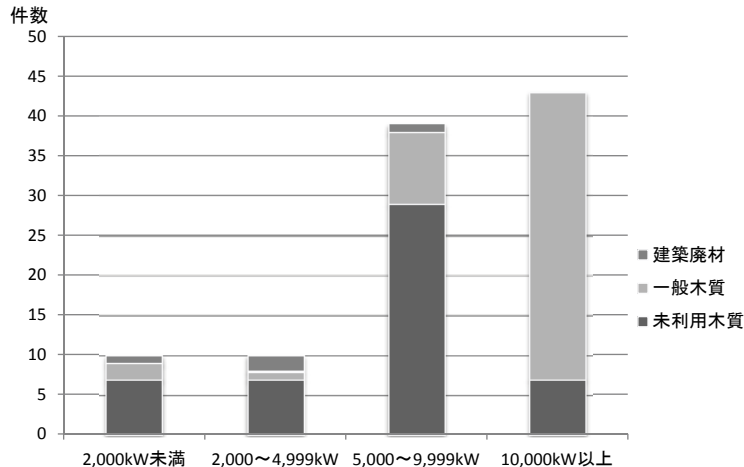


図2-1 FIT を利用した木質バイオマス発電設備の規模別件数

資料) 経済産業省資源エネルギー庁資料より

(4) 小規模木質バイオマス発電の事業性の試算

小規模木質バイオマス発電事業について、FIT の利用および木材の安定供給を前提として、実際の小規模の木質バイオマス発電設備を想定し、その事業性を試算する。なお、算出資料については、国内で小規模木質バイオマス発電設備の納入実績がある、A 社からの提供を受けている。

1) 設備概要

本稿では、小規模木質バイオマス発電装置として、300kW 規模と 600kW 規模の2ケースを想定し、発電方式としては多筒式ロータリーキルン炉ガス化ガスエンジン発電と直接燃焼・ORC 発電（Organic Rankine Cycle：有機ランキンサイクル）の2通りを想定する。

小規模木質バイオマス発電では、ガスエンジンを利用した木質バイオマスのガス化による発電方式が採られることが多い⁶⁾。多筒式ロータリーキルン炉ガス化ガスエンジン発電は、木質バイオマスをガス化した後に「改質炉」と呼ばれる炉を通すことで、燃焼後に残るタールを熱分解処理できる方式である。一方の直接燃焼・ORC 発電方式は、基本的な構造は蒸気タービンと同様であるが、水蒸気ではなく、高分子有機媒体（シリコンオイルなど）の蒸気を利用する。現在は欧州を中心に導入が進み、特に300～1500kW クラスの発電装置に使われている⁷⁾。熱の回収効率が高く、熱電併給を前提とした施設に多く導入されている。

2) 各ケースによる事業性評価の概要

a) 前提条件

今回の試算において設定した前提条件は以下の通りである。

- ①原料木材は原木チップを利用し、水分50%を含むものとする。
木材価格は聞き取り調査の結果をもとに10,000円/ton とする。
- ②発電された電気は全て FIT に従って販売されるとする。買取価格は小規模発電の未利用木質バイオマスで40円/kWh とする。
- ③排熱に関しても、全て利用できるものとし、排熱量を農業用ボイラーで一般的に用いられる A 重油に換算して収入に含める。A 重油の価格は『石油製品価格調査』⁸⁾をもとに100円/L とする
- ④ A 社聞き取り調査より、計画停止期間を考慮し、ガス化エンジンは年間7,200時間（300日）、ORC は年間7,920時間（330日）稼働する。
- ⑤設備の減価償却は15年とし、定額法で償却をする。

表2-4 排熱量から重油量への換算式

項目	計算式	数値例（ケースⅠ）
排熱量	A	3,600,000kW /年
エネルギー換算係数	B	3.6 MJ / kW
重油量換算係数	C	0.0256 L / MJ
重油量換算	D=A × B × C	331,238 L /年

資料)経済産業省資源エネルギー庁資料より

b) プラント性能および事業性評価

ケースⅠ) ガス化ガスエンジン発電300kW

ケースⅡ) ガス化ガスエンジン発電600kW

ケースⅢ) 直接燃焼・ORC 発電300kW

ケースⅣ) 直接燃焼・ORC 発電600kW

以上のケースⅠ)～Ⅳ)の試算結果が表2-5～表2-12である。

表2-5 プラント性能(ケースⅠ)

項目	単位	数値
燃料入熱量	kW	2,267
発電出力	kW	340
熱出力	kW	500
ガス化効率(a)	%	50
発電機効率(b)	%	30
発電効率(c)…(a)×(b)	%	15
熱効率(d)	%	22.1
総合効率…(c)+(d)	%	37.1

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-6 事業性評価(ケースⅠ)

項目	数値	備考
初期費用(建設コスト)	¥680,000,000	
売電量(a)	1,468,800kWh	発電量の60%(40%は所内)
売電収入(b)…a×40	¥58,752,000	FIT 利用(¥40/kWh)
熱供給収入(c)	¥33,123,800	重油 100 円 / L 換算
年間収入(d)…(b)+(c)	¥91,875,800	
事業支出(e)	¥205,592,345	
年間収支…(d)－(e)	¥-113,716,545	

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-7 プラント性能(ケースⅡ)

項目	単位	数値
燃料入熱量	kW	3,276
発電出力	kW	620
熱出力	kW	1,090
ガス化効率(a)	%	50
発電機効率(b)	%	37.9
発電効率(c)…(a)×(b)	%	18.9
熱効率(d)	%	33.3
総合効率…(c)+(d)	%	52.2

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-8 事業性評価(ケースⅡ)

項目	数値	備考
初期費用(建設コスト)	¥930,000,000	
売電量(a)	290,1600 kWh	発電量の65%(35%は所内)
売電収入(b)…a×40	¥116,064,000	FIT 利用(¥40/kWh)
熱供給収入(c)	¥72,187,800	重油 100 円 / L 換算
年間収入(d)…(b)+(c)	¥188,251,800	
事業支出(e)	¥282,010,829	
年間収支…(d)－(e)	¥-93,759,029	

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-9 プラント性能(ケースⅢ)

項目	単位	数値
燃料入熱量	kW	3,022
発電出力	kW	300
熱出力	kW	1,491
ボイラー効率(a)	%	85
発電機効率(b)	%	11.7
発電効率(c)…(a)×(b)	%	9.9
熱効率(d)	%	49.6
総合効率…(c)+(d)	%	59.3

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-10 事業性評価(ケースⅢ)

項目	数値	備考
初期費用(建設コスト)	¥554,000,000	
売電量(a)	1,686,960 kWh	発電量の71%(29%は所内)
売電収入(b)…a×40	¥67,478,400	FIT 利用(¥40/kWh)
熱供給収入(c)	¥108,652,700	重油 100 円 / L 換算
年間収入(d)…(b)+(c)	¥176,131,100	
事業支出(e)	¥204,445,097	
年間収支…(d)－(e)	¥-28,313,997	

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-11 プラント性能(ケースⅣ)

項目	単位	数値
燃料入熱量	kW	5,556
発電出力	kW	643
熱出力	kW	2,664
ボイラー効率(a)	%	85
発電機効率(b)	%	13.6
発電効率(c)…(a)×(b)	%	11.6
熱効率(d)	%	47.9
総合効率…(c)+(d)	%	59.5

資料)聞き取り結果およびA社資料による

表2-12 事業性評価(ケースⅣ)

項目	数値	備考
初期費用(建設コスト)	¥810,000,000	
売電量(a)	3,928,320 kWh	発電量の77%(23%は所内)
売電収入(b)…a×40	¥157,132,800	FIT 利用 (¥40/kWh)
熱供給収入(c)	¥194,131,900	重油 100 円 / L 換算
年間収入(d)…(b)+(c)	¥351,264,700	
事業支出(e)	¥320,511,567	
年間収支…(d)－(e)	¥30,753,133	排熱利用が85%を下回ると赤字
初期投資回収年	9.6	初期費用/(年間収支+減価償却費)

資料)聞き取り結果およびA社資料による

c) まとめ

ガス化発電方式では、発電機の効率は大規模木質バイオマス発電設備を上回る効率を達成しているが、木質バイオマスをガス化する際の効率を勘案する必要があり、木質バイオマスの投入量と出力の比である発電効率そのものは、大規模発電設備を下回る結果となった。ORC 発電では、発電効率は大規模発電設備より低めであるものの、熱効率が高いため、熱供給による収入が売電収入を上回っている。そのため、600kW クラスであれば単年度の黒字の達成も可能である試算結果となった。

今回の試算では、原料木材の安定供給と100%の熱利用を想定しており、小規模木質バイオマス発電の熱電併給事業として理想的な条件における試算であるといえよう。それでも想定した4つのケースのうち3つのケースで投資の回収が見込めず、投資回収が可能なケースでも85%以上の熱利用が求められる試算となり、小規模木質バイオマス発電事業単体での事業継続が困難であることを示唆する結果となった。

3. バイオマス発電の連携事業としての次世代施設園芸について

本節では、小規模木質バイオマス発電の連携事業として想定している次世代施設栽培の事業性について検討する。まず、わが国の次世代施設園芸に関する政策を概観する。次いで、本稿で選定した施設園芸の作目について、それぞれの事業性を検討する。

(1) わが国の次世代施設園芸政策

農業所得の向上や地域雇用の創出に向けて、大規模かつ高度な環境制御技術を用いた次世代施設園芸が注目されている。農林水産省は2013年にオランダの施設園芸をモデルケースとして「次世代施設園芸加速化支援事業」を創設し、わが国の次世代施設園芸を推進している。2014年に全国で9ヶ所が実施地区として採択されたのを皮切りに、2015年に新たに1ヶ所が

採択され、現在は10拠点で次世代施設園芸が実施されている。

わが国の次世代施設園芸の特徴として、①事業の実施主体である民間事業者や行政などを構成員としたコンソーシアムを組むこと、②木質バイオマス等の地域資源の利用による脱石油型エネルギー施設や高度な環境制御を行う園芸施設を整備すること、③次世代施設園芸推進に必要な技術実証をおこなうことが挙げられる。国内に豊富な天然ガス資源を持つオランダとは異なり、木質バイオマス等の利用を推進する点が、わが国独自の特徴であるといえる。

（２） 次世代施設園芸の品目ごとの経営について

ここでは、次世代施設園芸の栽培品目として、非結球レタス、イチゴの2つの品目を選定し、実際の施設を想定しつつ、各作目の経営の概要と事業性について試算する。

1) 前提条件

- ・土地は農用地を利用し、その評価額は現地調査の結果より1.5万円／坪とする。
- ・事業開始初年度の売り上げは目標売上の70%とし、その後、毎年10%ずつ加算するものとする。（4年目以降は目標売上に達成）
- ・労働力については、パートを利用し、時給を840円として計算する。
- ・各作目の基本モデルとして10aあたりの経営費を計算している。
- ・販売価格については、企業および生産者への聞き取り調査を参考にして算出している。
- ・販売先は確保されているとして、生産物はすべて販売する。
- ・減価償却は15年とし、定額法で償却をする。
- ・投資回収期間はキャッシュベースで計算する。

2) 非結球レタス作

非結球レタス作は、土耕栽培が主流であった1980年代に連作障害が発生したが、近年では養液栽培の栽培ノウハウの蓄積・技術の向上などから安定性・生産性が向上し、養液栽培へのシフトが進んでいる。小規模木質バイオマス発電は原料木材の品質差などから、ガス発電と比較して安定性が低くなると言われており、安定的な収益を確保できる非結球レタス作を小規模木質バイオマス発電の連携事業に組み込むことは有効であると考えられる。

養液栽培の非結球レタス作で導入実績のある

B社、C社の資料および現地での聞き取り調査を基に、非結球レタス作の事業性を検討したものが表3-1、表3-2である。

表3-1 非結球レタス作の初期投資

項目	価格（円）	備考
農地購入資金	4,537,500	
ハウス	26,028,000	B社資料
内部設備	5,000,000	C社資料
合計	35,565,500	

資料）各社資料及び聞き取り調査より作成

表3-2 非結球レタス作の収益および費用

収益		備考
収穫量（株）	380,000	
販売量（株）	349,600	収穫量の92%
粗収益（円）	26,220,000	販売単価75円/株
費用	価格（円）	備考
種苗費	6,194,000	B社資料
肥料費・農薬費	475,000	
電気代	3,600,000	
燃料代	1,500,000	
出荷資材費	1,500,000	
流通・輸送費	1,646,400	
修繕費	150,000	
人件費	1,735,500	
一般管理費	786,600	売上の3%を想定
減価償却費	2,068,533	15年償却
合計	19,656,033	
初期投資回収期間	7年	

資料）各社資料及び聞き取り調査を参考に試算・作成

非結球レタス作は生産量が多いため、販売網が整備できれば黒字は達成可能である。目標売り上げの80%を下回らなければ一般管理費や減価償却費、租税公課を勘案しても黒字となる。また、本ケースでは投資回収期間は7年であり、事業性は高いと評価できる。

3) イチゴ作

イチゴ作は温度管理と二酸化炭素施用が生産量の向上に有効な作目であり、トリジェネレーションを考える上で非常に有効である。一方で、定植や収穫などの労働が一時期に集中しやすい作目でもあるため大規模化は困難とされてきたが、近年は栽培装置を移動させることで労働者の負担を小さくする装置の開発も進んでいる。本項ではその移動栽培装置を開発しているD社の資料を参考にして、イチゴ作を選定して検討をおこなう。

表3-3 イチゴ作の初期投資

項目	価格（円）	備考
農地購入資金	4,537,500	
ハウス	26,028,000	B社資料
内部設備	33,182,000	D社資料
合計	63,747,500	

資料）各社資料及び聞き取り調査より作成

表3-4 イチゴ作の初期投資の収益および費用

収益		備考
収穫量 (kg)	7,000	
粗収益 (円)	7,000,000	販売単価 1,000 円 /kg
費用	価格 (円)	備考
種苗費	40,500	D 社資料
肥料費・農薬費	211,500	
電気代	121,000	
燃料代	449,600	
灯油代	138,240	
出荷資材・運搬費等	208,000	
修繕費	150,000	
人件費	809,900	
一般管理費	210,000	売上の3%を想定
減価償却費	3,947,333	15年償却
合計	6,286,073	
投資回収期間	15年	

資料) 各社資料及び聞き取り調査を参考に試算・作成

イチゴ作は売上額に対する売上原価の割合が小さく、効率的に売上総利益を計上することが出来る。しかし、移動式栽培装置の導入にかかるイニシャルコストが高く、減価償却費が経営費の半分以上を占めている。一方で、目標売上が達成されれば黒字の達成は可能で、15年での投資回収が見込まれている。

(3) 農業におけるコージェネレーション、トリジェネレーションの効果について

1) 「トリジェネレーション」とは

「トリジェネレーション」は発電事業を行う際に電気だけでなく、発電時に発生する熱および二酸化炭素を利活用する技術（「電気」、「熱」、「二酸化炭素」の三要素利用）である。現在、発電によるエネルギー効率は、燃料のエネルギーを100 (LHV 基準⁹⁾) として、20～40%とされている。発電で発生する熱のうち、有効利用可能な熱が燃料のエネルギーの40～50%に達し、電気と熱を利用するコージェネレーションシステムは、総合効率として70～80%に達するとされている。トリジェネレーションシステムでは、排気中に含まれる二酸化炭素も利用するため、そのエネルギー効率は90%以上とされている。

2) 本稿におけるコージェネレーション、トリジェネレーションの組み込み方法

トリジェネレーションの利用による農業への効果については、まだ明らかになっていない部分が多い。二酸化炭素施用による二酸化炭素濃度の変化と収量の変化についても、果樹や

葉物についての実証的な情報は無い¹⁰⁾。そこで本項では、熱や二酸化炭素を次世代施設園芸に利用する際の考え方として、収量の増加は考慮せず、暖房設備や燃料代の縮減による、コスト削減効果のみを考える。以下で、熱利用および二酸化炭素利用の方針を述べる。

a) 排熱の利用について

各経営体系における暖房設備の代替を排熱で行うため、イニシャルコストにおける暖房機具費が削減される。またランニングコストに関しては、燃料費が削減される。燃料費の削減額については、排熱の供給量および需要量を A 重油で換算し、比較することで確認する。

b) 二酸化炭素の利用について

二酸化炭素の利用に関しては情報が少なく、収量変化の十分な検討が出来ない。そこで、二酸化炭素の利用量が判明しているイチゴ作で二酸化炭素を施用するとし、イチゴ作での二酸化炭素需要量は全てトリジェネレーションでまかなえるものと仮定する。

3) 熱・二酸化炭素併給による投資計画の変化

①非結球レタス作経営

非結球レタス作では、熱供給を想定する。木質バイオマス発電による熱供給量は、非結球レタス作の需要量を超過している。このため、非結球レタス作に熱供給をする場合は、初期投資としての暖房施設が不要となる。そして、経営費用に関しては燃料費が削減されるほか、初期投資額の減少による減価償却費の削減も見込まれる。このため、目標売上高の達成率が70%であったとしても、単年度での黒字化が可能となる。また、投資回収期間も前節のケースより1年短縮できる。

表3-5 熱供給による投資計画の変化（非結球レタス作）

	通常時	熱併給時	備考
初期投資額（円）	35,565,500	34,515,500	暖房設備不要
費用（円）	19,656,033	18,086,033	燃料費及び減価償却費の減少
単年度利益（円）	6,563,967	8,133,967	
初期投資回収期間	7年	6年	

資料）試算結果より作成

②イチゴ作経営

イチゴ作では熱と二酸化炭素の供給を想定するため、初期投資における暖房設備及び二酸化炭素発生装置が不要となる。費用に関しても同様に、燃料費と減価償却費が削減される。この結果として、売上目標の達成率が90%となっても、単年度の黒字が見込まれ、投資回収も前節のケースより1年早まる見込みである。

表3-6 熱・二酸化炭素供給による投資計画の変化（イチゴ作）

	通常時	熱・二酸化炭素供給時	備考
初期投資額（円）	63,747,500	62,565,500	暖房設備および二酸化炭素発生機不要
費用（円）	6,286,073	5,619,433	燃料費及び減価償却費の減少
単年度利益（円）	713,927	1,380,567	
初期投資回収期間	15 年	14 年	

資料）試算結果より作成

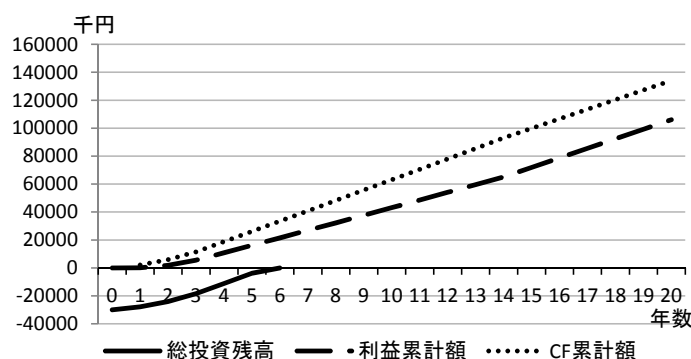


図3-1 熱供給による非結球レタス作（10a）の試算結果

資料）試算結果より作成

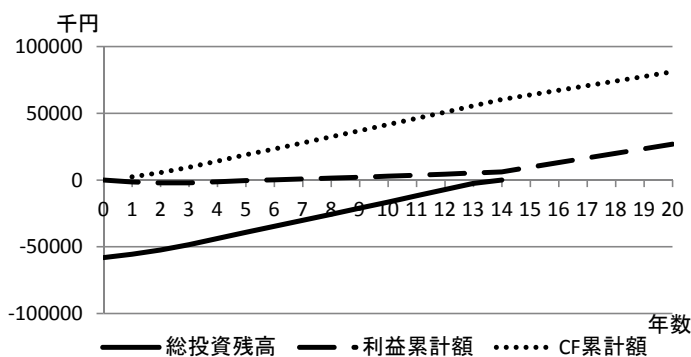


図3-2 熱・二酸化炭素供給によるイチゴ（10a）の試算結果

資料）試算結果より作成

（4）まとめ

以上、本節では小規模木質バイオマス発電の連携事業として次世代施設園芸の事業性を検討してきた。非結球レタス作、イチゴ作のそれぞれについて、投資回収という意味において事業性があると判断された。また、コージェネレーション、トリジェネレーションの効果についても、イニシャルコストの削減およびランニングコストの削減に対しての一定の評価が出来る。

4. 小規模木質バイオマス発電事業と次世代施設園芸の複合的な運用での試算結果

(1) 木質バイオマス発電と次世代施設園芸の連携事業としての試算

第3節のコージェネレーションおよびトリジェネレーションを活用した場合の次世代施設園芸の試算結果および、第2節でおこなった小規模木質バイオマス発電装置の試算結果を前提として、小規模木質バイオマス発電と①非結球レタス、②イチゴと非結球レタスの栽培を行う際の、複合的な運用について、栽培面積と利益・初期投資回収年についての試算結果を提示する。その結果の概要は、以下の表4-1～表4-8のようになる。

ケースⅠ) ガス化ガスエンジン発電300kW

表 4-1 非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅠ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
10a	716,615,500	-126,902,033	－
50a	863,077,500	-85,219,767	－
1ha	1,046,155,000	-33,116,933	－
1.5ha	1,229,232,500	18,985,900	13.0
2ha	1,412,310,000	71,088,733	9.0

資料) 試算結果より作成

表 4-2 イチゴ 50a と非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅠ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
イチゴ 50a+ レタス 10a	998,745,500	-118,497,498	－
イチゴ 50a+ レタス 50a	1,136,807,500	-77,095,232	－
イチゴ 50a+ レタス 1ha	1,309,385,000	-25,342,398	－
イチゴ 50a+ レタス 1.5ha	1,481,962,500	26,410,435	12.2
イチゴ 50a+ レタス 2ha	1,654,540,000	78,163,268	9.1

資料) 試算結果より作成

ケースⅡ) ガス化ガスエンジン発電600kW

表 4-3 非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅡ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
10a	966,615,500	-147,070,433	－
50a	1,113,077,500	-105,388,167	－
1ha	1,296,155,000	-53,285,333	45.2
2ha	1,662,310,000	50,920,333	10.9
3ha	2,028,465,000	155,126,000	7.3

資料) 試算結果より作成

表 4-4 イチゴ 50a と非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅡ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
イチゴ 50a+ レタス 10a	1,248,745,500	-138,665,888	－
イチゴ 50a+ レタス 50a	1,386,807,500	-97,263,632	－
イチゴ 50a+ レタス 1ha	1,559,385,000	-45,510,798	27.9
イチゴ 50a+ レタス 2ha	1,904,540,000	57,994,868	10.6
イチゴ 50a+ レタス 3ha	2,249,695,000	161,500,535	7.4

資料）試算結果より作成

ケースⅢ）直接燃焼・ORC 発電 300kW

表 4-5 非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅢ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
10a	590,615,500	-118,790,767	－
50a	737,077,500	-77,108,500	－
1ha	920,155,000	-25,005,667	28.8
2ha	1,286,310,000	79,200,000	8.2
3ha	1,652,465,000	183,405,667	5.9

資料）試算結果より作成

表 4-6 イチゴ 50a と非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅢ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
イチゴ 50a+ レタス 10a	872,745,500	-110,386,231	－
イチゴ 50a+ レタス 50a	1,010,807,500	-68,983,965	－
イチゴ 50a+ レタス 1ha	1,183,385,000	-17,231,131	20.0
イチゴ 50a+ レタス 2ha	1,528,540,000	86,274,535	8.4
イチゴ 50a+ レタス 3ha	1,873,695,000	189,780,202	6.1

資料）試算結果より作成

ケースⅣ）直接燃焼・ORC 発電 600kW

表 4-7 非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅣ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
10a	846,615,500	-141,696,433	－
50a	993,077,500	-100,014,167	－
1ha	1,176,155,000	-47,911,333	45.1
2ha	1,542,310,000	56,294,333	10.3
3ha	1,908,465,000	160,500,000	7.0

資料）試算結果より作成

表 4-8 イチゴ 50a と非結球レタス栽培でのシミュレーション結果（ケースⅣ）

栽培面積	初期投資額（円）	単年度利益（円）	初期投資回収年（年）
イチゴ 50a+ レタス 10a	1,128,745,500	-133,291,898	－
イチゴ 50a+ レタス 50a	1,266,807,500	-91,889,632	－
イチゴ 50a+ レタス 1ha	1,439,385,000	-40,136,798	27.1
イチゴ 50a+ レタス 2ha	1,784,540,000	63,368,868	10.1
イチゴ 50a+ レタス 3ha	2,129,695,000	166,874,535	7.1

資料）試算結果より作成

（２）試算結果のまとめ

小規模木質バイオマス発電と施設園芸との複合的な運用を行った際の試算結果は以下の表 4-9 の通りである。なお、熱利用に関しては、最も排熱の少ないガス化エンジン 300kW 規模であっても、非結球レタス 2.2ha までの対応が可能である。今回の試算では、発電方式による差はほとんどなく、発電規模による差が見られたのみである。そこで、以下の結果については主に発電規模別に述べる。

・ 損益の成績

300kW 規模であれば 1.5ha、600kW 規模であれば 1.8ha の非結球レタス作の面積が必要である。イチゴ作を併営したとしても 0.1ha 減少するのみで、大きな変化はない。

・ 初期投資回収期間

初期投資回収期間を 15 年とすると、300kW 規模で 1.3ha、600kW 規模で 1.5ha の非結球レタス作の面積が必要となる。回収期間を 10 年とすれば、300kW 規模で 1.9ha、600kW 規模

表 4-9 施設園芸との複合的な運用での試算結果まとめ

ケース	I	II	III	IV
発電装置	ガス化ガスエンジン		有機ランキンサイクル	
発電規模	300kW	600kW	300kW	600kW
単体での収益 (単位：千円)	-137,323	-157,491	-129,211	-152,117
非結球レタス栽培				
単年度黒字化	1.4ha	1.6ha	1.3ha	1.5ha
初期投資回収 15 年	1.4ha	1.6ha	1.3ha	1.6ha
初期投資回収 10 年	1.9ha	2.2ha	1.7ha	2.1ha
イチゴ 50a と非結球レタス栽培				
単年度黒字化	1.3ha	1.5ha	1.2ha	1.4ha
初期投資回収 15 年	1.3ha	1.5ha	1.3ha	1.5ha
初期投資回収 10 年	1.9ha	2.2ha	1.7ha	2.1ha

資料）試算結果より作成

で2.2haの非結球レタス作の面積が必要となる。

5. 木質バイオマス発電事業と次世代施設園芸に関する研究課題

本稿では、近年様々な政策によって推進されている、木質バイオマス発電事業と次世代施設園芸事業について、その事業性の試算をおこなった。この種事業は技術面での課題も多く、今後とも技術面からの研究の蓄積が望まれるが、経営面からの課題を整理すると以下のようになろう。

【木質バイオマス発電について】

- ①原料木質バイオマスの継続的・安定的確保に向けた域内林業との連携方策に関する研究
- ②熱需要への対応および排熱の効率的利活用方法に関する研究
- ③木質バイオマス発電設備の長期安定性確保と安定稼働に対するリスク負担のあり方に関する研究

【次世代施設園芸について】

- ④エネルギー供給から生産・調整・出荷まで対応できる、産官学連携クラスターの形成とそのあり方に関する研究
- ⑤ICTを活用した農業栽培技術の可視化と人材の育成に関する研究
- ⑥規模拡大や機械導入に向けた投資の効率性と資金調達に関する研究

【木質バイオマス発電と次世代施設園芸との連携事業について】

- ⑦小規模木質バイオマス発電設備とトリジェネレーションや排熱利用を前提とした連携事業との技術的・経済経営的スキームに関する研究
- ⑧地域内での雇用や消費も含めた地域資源循環システムのあり方に関する研究
- ⑨バイオマス発電事業と施設園芸事業の間での経営資源の適切な配分に関する研究

（１）木質バイオマス発電について（課題①、②、③）

1) 課題①

FITを利用した木質バイオマス発電事業においては、原料となる木質バイオマスをいかにして20年間、安定的に調達をするのが問題となる。また、輸送コストを考慮すれば木質バイオマスの供給範囲は地理的に限定されるため、一定の地域内での林業事業者や林業組合との連携の仕組みを構築することが不可欠となる。特に原料供給源である森林の整備・保全とも一体化した施策を講じなければ、長期的に安定した原料調達は困難である。

2) 課題②

木質バイオマス発電は、発電効率が石油資源と比較して低いため、発電の排熱を効率的に

利活用することが求められる。この時、熱供給と熱需要のバランスをいかにとるかが重要となろう。熱需要は季節や時間帯によって大きく変動するものであるため、集合住宅や商業施設、公共施設など幅広い熱需要先の開拓が必要となる。また、熱の輸送範囲も限られているため、木質バイオマス発電施設の立地条件も勘案する必要がある。

3) 課題③

わが国の木質バイオマス発電はFIT以降に本格化したものであり、国内メーカーによる発電設備の開発は十分とは言えない。特に小規模木質バイオマス発電では、欧州を中心とした海外メーカーの製品が主流となっている。20年間の長期的な安定稼働に向けては、メンテナンスや不具合発生リスクを、国内外のメーカーがどのように負担すべきかを検討する必要がある。

(2) 次世代施設園芸について（課題④、⑤、⑥）

1) 課題④

次世代施設園芸では、施設の集約化や機械化、ICTの利用も想定されるため、一事業者による事業運営ではなく、関係する事業者や行政、研究開発を中心とした大学や研究所などの産官学による連携クラスターの形成が重要となる。クラスター内での役割やリスクの分担、事業管理やガバナンスのあり方について明らかにする必要がある。

2) 課題⑤

次世代施設園芸ではICTを利用した栽培管理を行い、栽培技術の可視化による技術習得や人材の育成が求められる。そこで、次世代施設園芸に関わる栽培技術を整理し、それぞれの技術の特質やポイントについて明らかにする必要がある。その上で、それらの技術体系を円滑に習得させることによる、人材の育成手法やその効果についても明らかにする。

3) 課題⑥

次世代施設園芸事業の発展に従って、新しい栽培技術や省エネ技術の導入、規模の拡大が求められるようになる。当課題は課題④とも関連するが、新技術導入時や規模拡大時の投資の負担をクラスター内でいかに配分するか、あるいは制度融資などを利用して資金を調達するのか、投資の効果をいかに測定し評価するかについて、農業投資論や資金会計論の考えも援用しつつ明らかにする必要がある。

(3) 木質バイオマス発電と次世代施設園芸との連携事業について（課題⑦、⑧、⑨）

1) 課題⑦

小規模木質バイオマス発電は、事業単体で継続性を持つことは困難であるため、トリジェネレーションや排熱利用を前提とした施設園芸などを連携事業として展開させていく必要がある。この時、木質バイオマス発電設備の熱供給量や二酸化炭素供給量を加味しながら、それらの効率的利用が可能となる連携事業の規模や内容について、技術的・経済経営的に明ら

かにしていく必要があろう。特に経営的な観点からは、事業全体の経営管理問題を整理したうえで、発電事業と連携事業の各局面における経営管理の論理や特質を明らかにする必要がある。

2) 課題⑧

木質バイオマス発電は、一定の地理的な限定性を持ちつつ展開されていく。次世代施設園芸も同様に、立地条件や気候条件などの地理的な要因に規定されつつ展開される。そのため、地域資源である木質バイオマスの利用による森林再生と林業振興の他にも、地域住民の雇用や地域内への農産物供給による地域社会の活性化など、地域の資源循環システムを構築していくことが持続可能な事業に向けて必要となろう。

そこで、そうした資源循環システムにおけるネットワーク構造の特質と問題を明らかにし、地域活性化効果を明らかにすることが重要となる。

3) 課題⑨

バイオマス発電事業と施設園芸事業を連携する際の、ヒト・モノ・カネの経営資源をそれぞれの事業に配分していかなければならない。例えば、発電事業と施設園芸事業を併任する人材の配置や各事業における権限のあり方などについて、労務管理問題や人的資源管理問題、経営管理問題とも関連させながら検討していく必要がある。また、課題⑦とも関連するが、作付計画による熱需要、二酸化炭素需要と発電事業の熱供給、二酸化炭素供給のバランスのあり様の解明も重要となる。

6. むすび

本稿は、小規模木質バイオマス発電と次世代施設園芸に着目し、それぞれの事業性に関する試算および、コージェネレーションやトリジェネレーションの利用を前提に複合的な運用を考慮した場合の事業性の変化について試算を行った。本稿で得られた結論を以下に3点にまとめて提示する。

第一にFITを前提とした小規模木質バイオマス発電事業は、原料木材の安定供給や100%の排熱利用を想定したとしても、事業を成立させるのは困難であることが示唆された。

第二に木質バイオマス発電の連携事業としての次世代施設園芸については、非結球レタス、イチゴのそれぞれについて、投資回収という意味において事業性があると判断される。また、コージェネレーション、トリジェネレーションの効果についても、イニシャルコストの削減およびランニングコストの削減に対しての一定の評価が出来る。

第三に小規模木質バイオマス発電と次世代施設園芸の連携については、小規模木質バイオマス発電とおよそ1.5haの非結球レタス作の併営によって事業性を確保することができる。小規模の発電でも非結球レタスやイチゴの熱需要量には十分対応できるが、イチゴ作の併営

は損益計算上であまり大きな影響は見られなかった。

本稿の試算結果の特徴は、実際の本質バイオマス発電設備や次世代施設園芸の設備の情報をもとに、様々なケースでの試算をしている点である。その意味では、現在における小規模本質バイオマス発電や次世代施設園芸の事業性での特徴と課題に対して、有効な情報を提供できたものと言える。しかし、本質バイオマス発電事業および次世代施設園芸事業は、近年政策的に推進されて急拡大してきており、今後もその拡大が続くものと見込まれている。この種事業の設備に関しても、技術革新やブレークスルーを通じて技術面の課題が克服されることであろう。その場合、本稿の試算結果は大きく変わるものであることが予想される。

また、オランダやアメリカでは天然ガス発電によるトリジェネレーションの農業利用が進められており、今後はより国際的な視野をもってこの種事業の分析や解明を行う必要がある。その際には、各国の地理的・土地条件、インフラ整備、制度・政策・規制、組織づくりの差異などを捨象することなく、その意味や方向づけについても注目していかなければならない。今後、こうした視座からの研究が蓄積されることで、新たな地域資源循環のモデルや農林工連携という枠組みの展開が期待される。

[謝辞] 本稿は、大阪いずみ市民生活協同組合の受託研究事業による研究成果をもとに取りまとめたものである。この研究プロジェクトには多くの企業や組織、個人に多大な協力を賜った。この場をお借りし、感謝の意を表す次第である。

注

- 1) 経済産業省・資源エネルギー庁『再生可能エネルギーを巡る現状と課題』
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/pdf/001_03_00.pdf [2015年7月3日参照]
- 2) 経済産業省・資源エネルギー庁「RPS法 ホームページ」
<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/toplink-1.html> [2015年7月4日参照]
- 3) 東京電力 HP「太陽光発電の余剰電力買取制度について」
<http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/shin-ene/taiyoukou/fukakin-j.html> [2015年7月6日参照]
- 4) 経済産業省・資源エネルギー庁『再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック2015年度版』
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2015_fit.pdf [2015年7月10日参照]
- 5) 文献[3]参照
- 6) 本質バイオマスを直接燃やすのではなく、まず本質バイオマスを「ガス化」し、その上でガスエンジンによって燃焼させるものである。「ガス化」と「発電」の2段階が必要なため、施設の初期投資やメンテナンス費が増大する。
- 7) 文献[3]参照
- 8) 経済産業省資源エネルギー庁統計

- 9) 低位発電量基準のことで、発電時に発生する水蒸気が水になる際の発熱量を考慮しない場合のエネルギー量を表す。天然ガス発電やバイオマス発電では、水蒸気が液体になる際の発熱を有効に利用できないので、LHV 基準を採用している。
- 10) 文献〔1〕や文献〔2〕参照

引用文献

- 〔1〕池永寛明「農林水産分野におけるトリジェネレーションシステムの開発」『日本農業気象学会2008年全国大会講演要旨』、2008年
- 〔2〕牛尾亜由子「トルコギキョウ施設栽培における効果的な二酸化炭素の施用方法」『花き研究所ニュース』No.14、農研機構花き研究所、2007年
- 〔3〕梶山恵司「木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題」『富士通総研 研究レポート』No.409、2013年